

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H02P6/18 G01D5/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H02P G01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 793 337 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 3 September 1997 (1997-09-03) column 17, lines 42-54; figures 1,5 column 18, lines 17-42; figure 16 column 18, line 43 - column 19, line 5	1
X A	column 11, lines 4-23; figures 4,5 figures 6-8,11	6-8 2-5,9-17
A	----- EP 1 160 966 A (ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE) 5 December 2001 (2001-12-05) paragraphs '0018!', '0021!', '0061!'; figures 1-4	1-17
A	----- AT 395 487 B (ELIN ENERGIEANWENDUNG GES.M.B.H) 25 January 1993 (1993-01-25) page 6, lines 15-45; figures 1-3 -----	1-17

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 February 2005

Date of mailing of the international search report

25/02/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kanelis, K

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0793337	A	03-09-1997	JP 3381509 B2	04-03-2003
			JP 9238495 A	09-09-1997
			DE 69726776 D1	29-01-2004
			DE 69726776 T2	07-10-2004
			EP 0793337 A2	03-09-1997
			US 5854548 A	29-12-1998
EP 1160966	A	05-12-2001	EP 1160966 A1	05-12-2001
			AT 271275 T	15-07-2004
			WO 0193414 A1	06-12-2001
			DE 60104310 D1	19-08-2004
			EP 1285490 A1	26-02-2003
AT 395487	B	25-01-1993	AT 149390 A	15-05-1992
			WO 9201331 A1	23-01-1992
			AT 121878 T	15-05-1995
			DE 59105335 D1	01-06-1995
			DK 539401 T3	02-10-1995
			EP 0539401 A1	05-05-1993
			US 5339012 A	16-08-1994

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 7 H02P6/18 G01D5/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 IPK 7 H02P G01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 793 337 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 3. September 1997 (1997-09-03) Spalte 17, Zeilen 42-54; Abbildungen 1,5 Spalte 18, Zeilen 17-42; Abbildung 16 Spalte 18, Zeile 43 - Spalte 19, Zeile 5	1
X A	Spalte 11, Zeilen 4-23; Abbildungen 4,5 Abbildungen 6-8,11	6-8 2-5,9-17
A	EP 1 160 966 A (ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE) 5. Dezember 2001 (2001-12-05) Absätze '0018!', '0021!', '0061!; Abbildungen 1-4	1-17
A	AT 395 487 B (ELIN ENERGIEANWENDUNG GES.M.B.H) 25. Januar 1993 (1993-01-25) Seite 6, Zeilen 15-45; Abbildungen 1-3	1-17

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. Februar 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25/02/2005

 Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kanelis, K

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0793337	A	03-09-1997	JP 3381509 B2	04-03-2003
			JP 9238495 A	09-09-1997
			DE 69726776 D1	29-01-2004
			DE 69726776 T2	07-10-2004
			EP 0793337 A2	03-09-1997
			US 5854548 A	29-12-1998
EP 1160966	A	05-12-2001	EP 1160966 A1	05-12-2001
			AT 271275 T	15-07-2004
			WO 0193414 A1	06-12-2001
			DE 60104310 D1	19-08-2004
			EP 1285490 A1	26-02-2003
AT 395487	B	25-01-1993	AT 149390 A	15-05-1992
			WO 9201331 A1	23-01-1992
			AT 121878 T	15-05-1995
			DE 59105335 D1	01-06-1995
			DK 539401 T3	02-10-1995
			EP 0539401 A1	05-05-1993
			US 5339012 A	16-08-1994

Verfahren zur Ermittlung der Rotorlage einer Synchronmaschine

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Rotorlage einer stillstehenden oder sich langsam drehenden Synchronmaschine durch Auswertung von elektrischen Messpulsen, die durch Anlegen von Spannungspulsen an die einzelnen Phasenwicklungen des Stators gewonnen werden, bei dem Änderungen der Induktivität der Phasenwicklungen, die durch die Sättigung des Statoreisens in Abhängigkeit von der Rotorlage verursacht werden, durch Berechnung von Strombetragsdifferenzen von zwei Messpulsen in entgegengerichteten Stromrichtungen ermittelt werden, wobei den Strombetragsdifferenzen Winkelwerte zugeordnet sind, die durch die Anzahl der Phasenwicklungen vorgegeben sind.

Ein derartiges Verfahren ist z. B. aus der US-Patentschrift US 6,172,498 B1 mit dem Titel „Method and Apparatus for Rotor Angle Detection“ bekannt. Bei der Durchführung des bekannten Verfahrens werden an die einzelnen Phasenwicklungen des Stators Messpulse entgegengesetzter Polarität angelegt, aus deren Amplituden Differenzwerte gebildet werden, die zur Bestimmung der allgemeinen Rotorlage und anschließend zur Bestimmung eines Korrekturwertes verwendet werden, mit dem die allgemeine Rotorlage korrigiert wird.

Nachteilig an diesem Verfahren ist, dass der durch die Messpulse verursachte Restmagnetismus des Statoreisens jeweils den folgenden Messpuls beeinflusst, so dass die anfängliche Rotorlage nicht ausreichend genau ermittelt

wird, so dass die Messgenauigkeit des Verfahrens erheblich beeinträchtigt wird.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, die Messgenauigkeit des Verfahrens der eingangs genannten Gattung zu erhöhen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass vor dem

ersten Messpuls ein Vormagnetisierungspuls mit einer gegenüber dem ersten Messpuls entgegengesetzten Polarität und einer dem ersten Messpuls entsprechenden Einschaltdauer erzeugt wird und dass der jeweils erste, an die entsprechende Phasenwicklung angelegte Messpuls als Vormagnetisierungspuls in der gleichen Phasenwicklung wirkt.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden bei der Auswertung der Messpulse den Strombetragsdifferenzen zugeordneten Winkelwerten bestimmte Winkeloffsetwerte hinzuaddiert und die so gebildeten Wertepaare mit einer Referenzkennlinie verglichen, wobei die Summe der Quadrate der Vergleichsergebnisse gebildet und zusammen mit dem zugehörigen Winkeloffsetwert in einem Speicher abgelegt wird, wonach das Minimum der Summe ermittelt wird und der zugehörige Winkeloffsetwert als gemessene Rotorlage ausgegeben wird. Durch diese Maßnahme wird eine weitere Erhöhung der Genauigkeit der ermittelten Rotorlage durch die Auswertung der Referenzkennlinie erreicht, die die Eigenschaften einer Referenzmaschine genau abbildet.

Eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Winkeloffsetwerte auf einen Winkelbereich begrenzt werden, der durch Vorzeichen der ermittelten Strombetragsdifferenzen bestimmt wird. Durch diese Maßnahme wird eine Erhöhung der Auswertungsgeschwindigkeit bzw. Reduktion der erforderlichen Rechenleistung durch Vorauswahl des zu erwartenden Ergebnisses erreicht.

Um eine Erhöhung der Auswertungsgeschwindigkeit bzw. Reduktion der erforderlichen Rechenleistung durch iterative Verfeinerung der Auflösung der zu ermittelnden Rotorlage zu erreichen sieht die Erfindung vor, dass mehrere Auswertungszyklen nacheinander mit kleiner werdenden Abständen zwischen den Winkeloffsetwerten durchgeführt werden.

Um durch aktiven Stromabbau eine Momentenrückwirkung der Messpulse auf die Rotorlage zu minimieren und die Messzeit zu reduzieren ist nach einem weiteren Erfindungsmerkmal vorgesehen, dass ein oder mehrere Kompensationspulse zur Erhöhung des Stromabfallgradienten des Vormagnetisierungs- sowie der Messpulse erzeugt werden.

Dabei können vorzugsweise zur Erzeugung eines Messpulses zwei oder mehr Phasenwicklungen für eine festgelegte Zeit mit definierten Potentialen verbunden werden oder, insbesondere bei Motoren mit Sternschaltung, eine oder mehrere Phasenwicklungen und der Sternpunkt für eine festgelegte Zeit mit definierten Potentialen verbunden werden. Durch die Gewinnung von weiteren Messpunkten bei zusätzlichen Winkelwerten wird eine wesentliche Verbesserung der Messgenauigkeit erreicht. Ergeben sich durch die zusätzlichen Winkelwerte verschiedene Induktivitäten und Widerstände für die entsprechende Schaltungsanordnung, so muss die Einschaltdauer der

Messpulse angepasst werden und/oder die ermittelten Strombetragsdifferenzen mit einem Skalierungsfaktor multipliziert werden.

Um die Genauigkeit der Rotorlagenermittlung durch optimale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Strommessbereichs zu erhöhen sieht die Erfindung vor, dass die festgelegte Zeit in Abhängigkeit von der für die Erzeugung der Messpulse notwendigen, an die Phasenwicklungen angelegten Spannung gewählt wird. Zusätzlich kann die festgelegte Zeit in Abhängigkeit von der Temperatur der Synchronmaschine gewählt werden. Durch diese Maßnahme wird eine weitere Erhöhung der Genauigkeit der ermittelten Rotorlage durch Kompensation der Widerstandsänderung der Phasenwicklungen unter Temperatureinfluss erreicht.

Sollten keine Spannungs- und/oder Temperaturmessungen möglich sein, so wird eine weitere Erhöhung der Messgenauigkeit durch optimale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Strommessbereichs dadurch erreicht, dass die festgelegte Zeit schrittweise so lange verlängert wird, bis eine gewünschte Stromamplitude des Messpulses erreicht ist.

Bei einer anderen, besonders kostengünstig durchführbaren Variante des Verfahrens nach der Erfindung wird die Stromamplitude aller Messpulse mit einem einzigen Messmittel ermittelt. Durch den Wegfall des Messoffsets bei der Differenzenbildung sowie den Wegfall von Skalierungsfehlern bei der Verwendung mehrerer Sensoren wird die Genauigkeit der Rotorlagenermittlung erhöht. Zur Wahl eines für die Rotorlagenermittlung optimalen Strommessbereichs ist nur ein zusätzlicher Sensor notwendig

Alternativ kann die Stromamplitude aller Messpulse mit einer Strommesseinrichtung ermittelt werden, die der Synchronmaschine zugeordnet ist, so dass keine zusätzlichen Sensoren notwendig sind.

Um die Genauigkeit der ermittelten Rotorlage durch die Berücksichtigung der gemessenen Rotorlagenänderung während der Messung weiter zu erhöhen sieht eine vorteilhafte Weiterbildung des Erfindungsgegenstandes vor, dass die Änderung der Rotorlage aufgrund der Momentenrückwirkung der Messpulse gemessen wird und in Abhängigkeit davon die den Strombetragsdifferenzen zugeordneten Winkelwerte entsprechend korrigiert werden.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die Referenzkennlinie an die ermittelten Strombetragsdifferenzen angepasst wird. Dadurch erfolgt eine Anpassung der Referenzkennlinie an die Eigenschaften der Synchronmaschine zum Ausgleich von Serienstreuungen bei der Fertigung.

Nach einem anderen vorteilhaften Merkmal der Erfindung wird die an die Phasenwicklungen angelegte Spannung während der Messpulse überwacht und bei einer Abweichung von einer vorgegebenen Toleranz der Messpuls wiederholt. Durch diese Maßnahme werden sämtliche, durch Spannungseinbrüche verfälschten Messpulse verworfen.

Bei einer anderen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass während der Einschaltdauer der Messpulse deren Stromamplitude überwacht wird und bei einer Abweichung von einer vorgegebenen Toleranz der Messpuls wiederholt wird. Durch diese Maßnahme werden sämtliche, außerhalb der Toleranz liegenden Messpulse verworfen.

Schließlich sieht ein weiteres Erfindungsmerkmal vor, dass das Minimum der Summe der Quadrate der Vergleichsergebnisse als Kriterium der Qualität der Ermittlung der Rotorlage verwendet wird. Durch diese Maßnahme werden sämtliche Rotorlagenwerte verworfen, deren zugrundeliegende Strombetragsdifferenzen zu stark von der abgelegten Referenzkennlinie abweichen.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnungen Bezug genommen, in denen eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Ermittlung der Rotorlage schematisch veranschaulicht ist. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Durchführung des gattungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 ein Diagramm der Abhängigkeit $U, I = f(t)$, das Spannungs- und Strompulse einer idealisierten Einzelmessung bei einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, und

Fig. 3 ein Diagramm, das die Auswertung der Messpulse darstellt.

In der Fig. 1 sind mit dem Bezugszeichen 1 eine Synchronmaschine und mit dem Bezugszeichen 2 eine der Synchronmaschine 1 zugeordnete Ansteuerungselektronik bezeichnet. Die Ansteuerungselektronik 2 enthält im Wesentlichen ein Ansteuerungssoftwaremodul 3 sowie eine Leistungsendstufe 4, deren Ausgangs- bzw. Spannungssignale U_u , U_v und U_w an die Phasenwicklungen U, V und W der Synchronmaschine 1 angelegt werden. Das Ansteuerungssoftware-modul 3 umfasst ein Steuermodul 5 zum

Steuern des Ablaufs der Ermittlung der Rotorlage der Synchronmaschine 1 sowie eine Rotorlageerfassungseinrichtung 6, der die Rotorlageänderung der Synchronmaschine 1 repräsentierende Ausgangssignale ϕ eines relativen Rotorlagesensors 7 zugeführt werden. Das Steuermodul 5 umfasst ein Messwerterfassungsmodul 8, ein Auswertemodul 9, einen Speicher 10, in dem eine Referenzkennlinie der Synchronmaschine 1 abgelegt ist, sowie eine Schnittstelle 11, deren Ausgangssignal der Rotorlageerfassungseinrichtung 6 zugeführt wird. Das Messwerterfassungsmodul 8 besteht im wesentlichen aus einem Testpulsgenerator 12, einer dem Testpulsgenerator 12 nachgeschalteten PWM-Einheit 13, einer Messeinrichtung 14 sowie einem Messwertspeicher 15.

Im nachfolgenden Text wird die Funktionsweise der in Fig. 1 dargestellten Schaltungsanordnung näher erläutert:

Es wird angenommen, dass die Synchronmaschine 1 sich im Stillstand befindet, wobei zunächst die Messung der Strombetragsdifferenz in der Phasenwicklung U durchgeführt wird. Dabei wird an die Phasenwicklung U ein erstes Potential angelegt, während an die Phasenwicklungen V und W ein zweites Potential angelegt werden. Die Einschaltzeit der so entstehenden Spannung wird vom Testpulsgenerator 12 fest gelegt. Die PWM-Einheit 13 setzt die Anforderungen des Testpulsgenerators 12 um, indem sie die Leistungsstufe 4 so ansteuert, dass die gewünschten Spannungspulse an die Phasenwicklungen U, V, W der Synchronmaschine 1 angelegt werden. Durch das Anlegen des Spannungspulses U_{vorm} entsteht in der Phasenwicklung U ein Strompuls I_{vorm} , (s. Fig. 2), der als Vormagnetisierungspuls dient und eine definierte Restmagnetisierung bzw. Remanenz im Statoreisen bewirkt. Um den Stromabbau zu beschleunigen wird vom Testpulsgenerator 12 ein Kompensationsspannungspuls $-U_{\text{komp}}$ kürzerer

Einschaltzeit t_2 und entgegengesetzter Polarität erzeugt. An den Kompensationspuls $-U_{komp}$ kann sich eine Wartezeit t_0 anschließen, in der der Strom auf Null abklingt. Als nächstes wird vom Testpulsgenerator 12 ein Spannungspuls $-U_{mess1}$ mit einer dem vorangegangenen Kompensationspuls $-U_{komp}$ entsprechenden Polarität erzeugt, dessen Einschaltzeit der Einschaltzeit t_1 des Spannungspulses U_{vorm} zur Erzeugung des Vormagnetisierungspulses I_{vorm} entspricht und der einen ersten Strommesspuls I_{mess1} erzeugt, dessen Betragsamplitude am Ende des Spannungspulses $-U_{mess1}$ in der Messeinrichtung 14 ermittelt wird. Zum Stromabbau wird wieder ein Kompensationsspannungspuls U_{komp} verwendet. Anschließend wird in gleicher Weise ein zweiter Strommesspuls I_{mess2} mit entgegengesetzter Polarität erzeugt, dessen Betragsamplitude ebenfalls von der Messeinrichtung 14 erfasst wird. Aus den ermittelten Betragsamplituden wird in der Messeinrichtung 14 eine Strombetragsdifferenz ϕI_0 gebildet, die mit dem zugehörigen Winkelwert im Messwertspeicher 15 abgelegt wird. Der beschriebene Messvorgang wird auch für die Phasenwicklungen V und W wiederholt.

In einem nächsten Schritt werden die aus den Strombetragsdifferenzen ϕI und den zugehörigen Winkelwerten gebildeten Wertepaare dem Auswertemodul 9 zugeführt, in dem sie mit der im Speicher 10 abgelegten Referenzkennlinie verglichen werden. Wie in Fig. 3 dargestellt ist, werden die Wertepaare um einen geeigneten Winkeloffsetwert ϕ_{start} derart verschoben, dass die Abweichung zur Referenzkennlinie minimal wird. Zu diesem Zweck wird vorzugsweise die an sich bekannte Methode der kleinsten Fehlerquadrate verwendet. Der Winkeloffsetwert ϕ_{start} wird über die Schnittstelle 11 der Motorlageerfassungseinheit 6 übermittelt und von dieser als Startwinkel der Synchronmaschine 1 genutzt. Für den Betrieb der

Synchronmaschine 1 wird von der Motorlageerfassung 6 die Rotorlageänderung $\varphi\varphi$ fortlaufend zu dem Startwinkel φ_{start} hinzuaddiert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Rotorlage einer stillstehenden oder sich langsam drehenden Synchronmaschine durch Auswertung von elektrischen Messpulsen, die durch Anlegen von Spannungspulsen an die einzelnen Phasenwicklungen des Stators gewonnen werden, bei dem Änderungen der Induktivität der Phasenwicklungen, die durch die Sättigung des Statoreisens in Abhängigkeit von der Rotorlage verursacht werden, durch Berechnung von Strombetragsdifferenzen von zwei Messpulsen in entgegen gerichteten Stromrichtungen ermittelt werden, wobei den Strombetragsdifferenzen Winkelwerte zugeordnet sind, die durch die Anzahl der Phasenwicklungen vorgegeben sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem ersten Messpuls I_{mess1} ein Vormagnetisierungspuls I_{Vorm} mit einer gegenüber dem ersten Messpuls I_{mess1} entgegen gesetzten Polarität erzeugt wird, wobei die Einschaltzeiten t_1 der zugehörigen Spannungspulse U_{Vorm} und $-U_{\text{mess1}}$ gleich sind, und dass der jeweils erste, in der entsprechenden Phasenwicklung (U, V, W) erzeugte Messpuls I_{mess1} als Vormagnetisierungspuls in der gleichen Phasenwicklung (U, V, W) wirkt.
2. Verfahren nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Auswertung der Messpulse I_{mess} den den Strombetragsdifferenzen ϕI zugeordneten Winkelwerten bestimmte Winkeloffsetwerte hinzuaddiert werden und die so gebildeten Wertepaare mit einer Referenzkennlinie verglichen werden, wobei die Summe der Quadrate der Vergleichsergebnisse gebildet und

zusammen mit dem zugehörigen Winkeloffsetwert in einem Speicher abgelegt wird, wonach das Minimum der Summe ermittelt wird und der zugehörige Winkeloffsetwert φ_{Start} als gemessene Rotorlage ausgegeben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Winkeloffsetwerte auf einen Winkelbereich begrenzt werden, der durch die Auswertung der Vorzeichen der ermittelten Strombetragsdifferenzen bestimmt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Auswertungszyklen nacheinander mit kleiner werdenden Abständen zwischen den Winkelwerten durchgeführt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** ein oder mehrere Kompensationspulse U_{komp} zur Erhöhung des Stromabfallgradienten des Vormagnetisierungspulses I_{Vorm} sowie der Messpulse I_{mess} erzeugt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung eines Messpulses I_{mess} zwei oder mehr Phasenwicklungen für eine festgelegte Zeit t_1 mit definierten Potentialen verbunden werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung eines Messpulses I_{mess} bei Motoren mit Sternschaltung eine oder mehrere Phasenwicklungen und der Sternpunkt für eine

festgelegte Zeit t_1 mit definierten Potentialen verbunden werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** die festgelegte Zeit t_1 in Abhängigkeit von der für die Erzeugung der Messpulse I_{mess} notwendigen, an die Phasenwicklungen angelegten Spannung U_{mess} gewählt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8 **dadurch gekennzeichnet, dass** die festgelegte Zeit t_1 in Abhängigkeit von der Temperatur der Synchronmaschine 1 gewählt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9 **dadurch gekennzeichnet, dass** die festgelegte Zeit t_1 schrittweise so lange verlängert wird, bis eine gewünschte Stromamplitude des Messpulses I_{mess} erreicht ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stromamplitude aller Messpulse I_{mess} mit einem einzigen Messmittel ermittelt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 **dadurch gekennzeichnet, dass** der Synchronmaschine 1 eine Strommesseinrichtung zugeordnet ist, mit der die Stromamplitude aller Messpulse I_{mess} ermittelt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Änderung der Rotorlage aufgrund der Momentenrückwirkung der Messpulse I_{mess} gemessen wird und in Abhängigkeit davon die den

Strombetragsdifferenzen zugeordneten Winkelwerte entsprechend korrigiert werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 13 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenzkennlinie an die ermittelten Strombetragsdifferenzen angepasst wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 **dadurch gekennzeichnet, dass** die an die Phasenwicklungen angelegte Spannung während der Einschaltdauer t_1 der Spannungspulse U_{mess} überwacht wird und bei einer Abweichung von einer vorgegebenen Toleranz der Messpuls I_{mess} wiederholt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15 **dadurch gekennzeichnet, dass** während der Einschaltdauer t_1 der Spannungspulse U_{mess} deren Stromamplitude I_{mess} überwacht wird und bei einer Abweichung von einer vorgegebenen Toleranz der Messpuls I_{mess} wiederholt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 16 **dadurch gekennzeichnet, dass** das Minimum der Summe der Quadrate der Vergleichsergebnisse als Kriterium der Qualität der Ermittlung der Rotorlage verwendet wird.

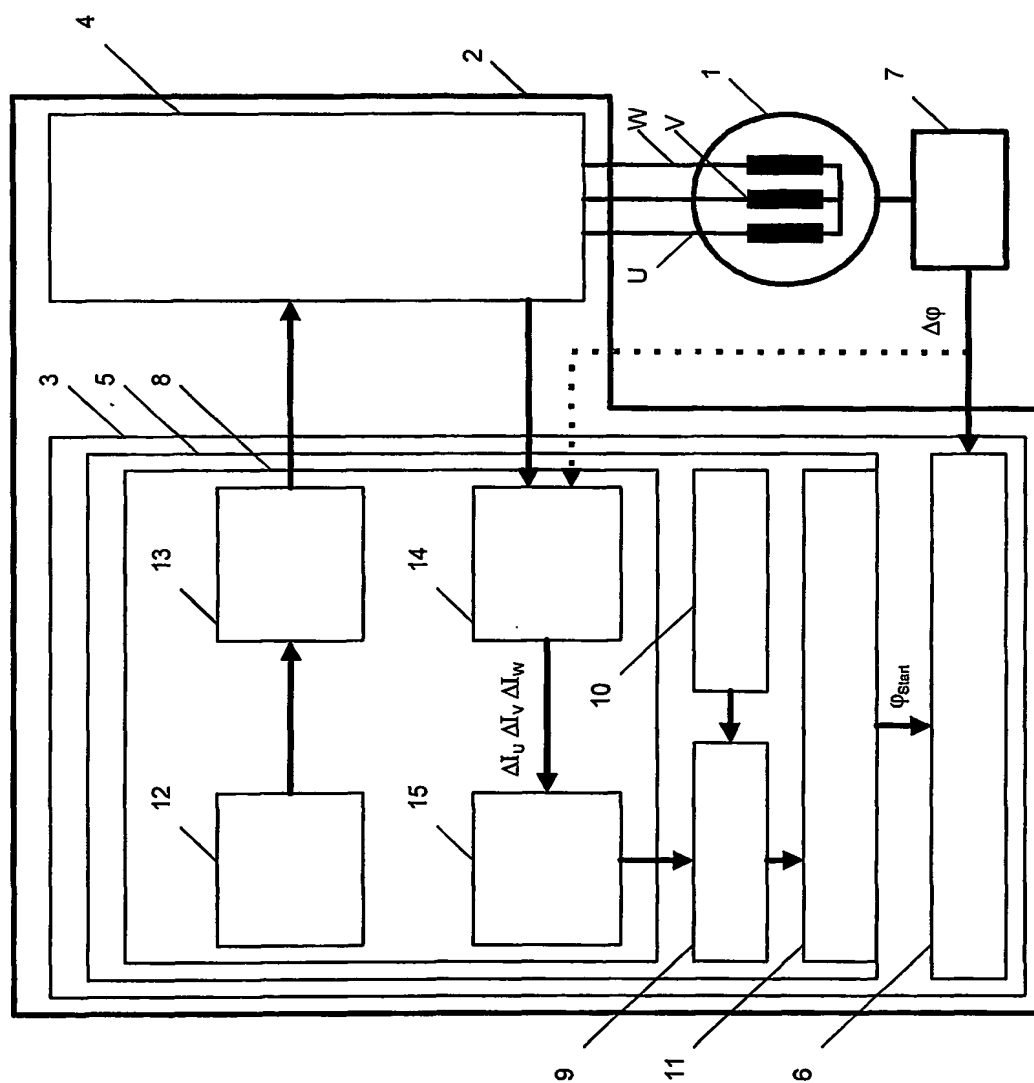
Fig. 1

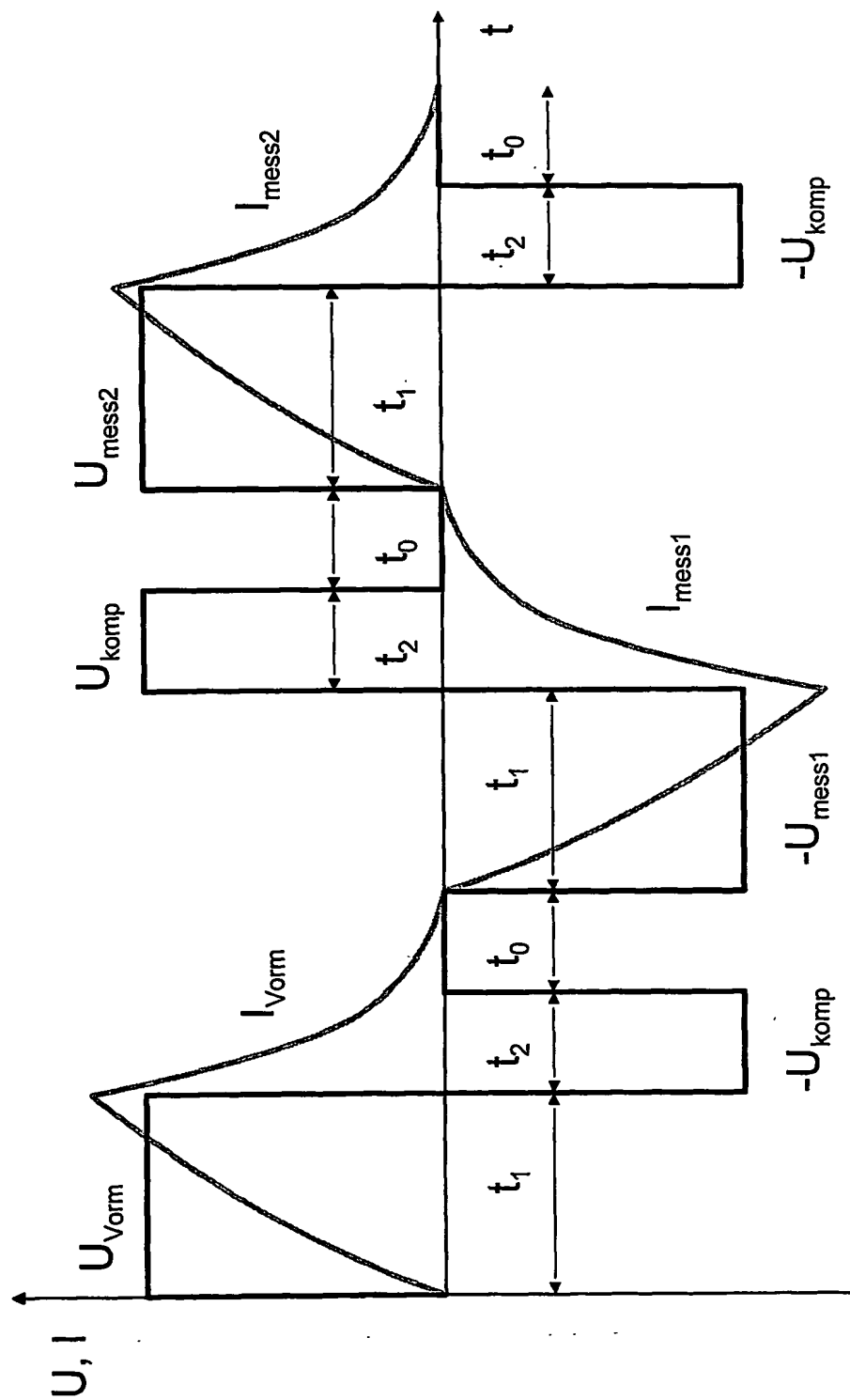
Fig. 2

Fig. 3